

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 2 月 1 2 日  
Date of Application:

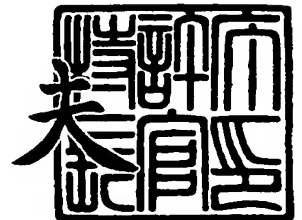
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 6 1 1 1 3  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 6 1 1 1 3 ]

出      願      人                      株式会社村田製作所  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 2 1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 MP1043

【提出日】 平成14年12月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01H 59/00

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田  
                            製作所内

    【氏名】 川合 浩史

【特許出願人】

    【識別番号】 000006231

    【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

【代理人】

    【識別番号】 100093894

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 五十嵐 清

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 000480

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9004888

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 RF MEMSスイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され前記高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向する単一の可動体と、この可動体に形成され前記高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して前記可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、前記可動電極は前記可動体に複数形成されて互いに前記高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列され、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することを特徴とするRF MEMSスイッチ。

【請求項2】 基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置されて前記高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向し、かつ、高周波信号導通部の信号導通方向に互いに間隔を介して配置された複数の可動体と、それぞれの可動体に形成され前記高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して前記可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、前記複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することを特徴とするRF MEMSスイッチ。

【請求項3】 1つの可動体に複数の可動電極が形成されてこれらの可動電極が互いに高周波信号導通部の信号導通方向に互いに間隔を介して配置されていることを特徴とする請求項2記載のRF MEMSスイッチ。

【請求項4】 可動体は、高周波信号に対しては絶縁体として振る舞い、かつ、低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞う高抵抗半導体により構成されており、基板上には可動体の一部分に対向する可動用固定電極が形成され、この可動用固定電極と、前記電極として機能する可動体とは、当該可動用固定電極と可動体間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定

電極側に変位させる可動体変位手段を構成していることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の RF MEMS スイッチ。

【請求項 5】 可動体の上方側に間隔を介して対向する上部部材が配設されており、可動用固定電極を基板上に設けるのに代えて、可動用固定電極はその上部部材に可動体の少なくとも一部分に対向させて形成されていることを特徴とする請求項 4 記載の RF MEMS スイッチ。

【請求項 6】 対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には保護用の絶縁膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

【請求項 7】 高周波信号導通部はコプレーナ線路とマイクロストリップ線路のうちの一方側と成し、RF MEMS スイッチは、可動電極と高周波信号導通部間の静電容量変化を利用して高周波信号導通部であるコプレーナ線路又はマイクロストリップ線路の信号の導通オン・オフを制御するシャントスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 つに記載の RF MEMS スイッチ。

【請求項 8】 RF MEMS スイッチは、互いに対向する高周波信号導通部と可動電極の少なくとも一部が互いに直接接触と離間とを行うことにより高周波信号導通部の信号の導通オン・オフを制御するスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 つに記載の RF MEMS スイッチ。

【請求項 9】 可動体は高抵抗半導体により構成される代わりに高周波信号に対して絶縁性を有する半導体又は絶縁体により構成され、この可動体には可動用固定電極に対応した位置に可動体変位用可動電極が形成されており、この可動体変位用可動電極と前記可動用固定電極とは、当該可動用固定電極と可動体変位用可動電極間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極側に変位させる可動体変位手段を構成していることを特徴とする請求項 4 乃至請求項 8 のいずれか一つに記載の RF MEMS スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば周辺監視レーダー用アンテナスキャン等の高周波回路モジュールに組み込まれるRF MEMS (micro electro mechanical systems) スイッチに関するものである。

#### 【0002】

##### 【背景技術】

ミリ波、マイクロ波の高周波信号で用いるスイッチ素子の例として、シャント型のRF MEMSスイッチ（シャントスイッチ素子）が提案されている（例えば、非特許文献1参照。）。

#### 【0003】

この種のRF MEMSスイッチは、例えば基板上に高周波信号導通部を設け、この高周波信号導通部の少なくとも一部に対向する電極を前記基板の上方側に配置し、当該電極を、静電引力を利用して基板に対して遠近方向に変位させることにより、電極と高周波信号導通部との間の静電容量を変化させるものである。

#### 【0004】

例えば、高周波信号導通部に形成した信号線路と前記可動する電極間の間隔を狭くすると、信号線路と電極間の静電容量が大きくなり、信号線路の高周波信号の導通がオフする。また、その逆に、前記信号線路と前記可動する電極間の間隔を広くすると、信号線路と電極間の静電容量が小さくなり、信号線路の高周波信号の導通がオンする。つまり、この種のRF MEMSスイッチは、前記電極を変位させて当該電極と前記信号線路間の静電容量を可変することにより、高周波信号導通部の高周波信号の導通オン・オフを制御することができる。

#### 【0005】

##### 【非特許文献1】

J. B. Muldavin, Student Member, IEEEら著、「High-Isolation CPW MEMS Shunt Switches-Part 1: Modeling」、IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY TECHNIQUES, Vol.48. No.6 June 2000, p1045-1052.

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記提案等の、従来のRF MEMSスイッチは、上記可動す

る電極が1つのスイッチ素子に1つ設けられている構成であり、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行えない可能性があった。

#### 【0007】

本発明は、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができるRF MEMSスイッチを提供することにある。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、この発明は、基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され前記高周波信号導通部の少なくとも一部分に対向する単一の可動体と、この可動体に形成され前記高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して前記可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有し、前記可動電極は前記可動体に複数形成されて互いに前記高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列され、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することを特徴として構成されている。

#### 【0009】

##### 【発明の実施の形態】

以下に、この発明に係る実施形態例を図面に基づいて説明する。

#### 【0010】

図1(a)には本発明に係るRF MEMSスイッチの一例が模式的な平面図により示され、図1(b)には図1(a)のA-A部分の断面図が模式的に示されている。

#### 【0011】

この第1実施形態例のRF MEMSスイッチ1は、高周波回路に組み込まれ

てコプレーナ線路のスイッチ素子として機能するものである。この RF MEMS スイッチ 1 において、基板 2（例えばシリコン基板やサファイア基板など）を有し、この基板 2 上には高周波信号導通部であるコプレーナ線路（CPW 線路）3 が形成されている。このコプレーナ線路 3 は、信号線 3 s を 2 本のグラウンド線 3 g1, 3 g2 が間隔を介し挟み込む形態で配置されて成る高周波信号伝送用の線路であり、それら線路 3 s, 3 g1, 3 g2 は、例えば Au 等の導体膜により構成される。また、その線路 3 s, 3 g1, 3 g2 の厚みは適宜設定されるものであるが、その一例を挙げるとすると、例えば約  $2\ \mu\text{m}$  程度である。この第 1 実施形態例では、コプレーナ線路 3 には例えば 5 GHz 以上の高周波の信号が流れる。

#### 【0012】

また、基板 2 の上方側には基板 2 と間隔を介して上部部材（例えばガラス基板）4 が配置されている。この上部部材 4 は固定部 5（5 a, 5 b）を介して基板 2 に固定されている。さらに、基板 2 と上部部材 4 間の間隙には、単一の可動体 6 が、コプレーナ線路 3 の上方側に間隔を介し、かつ、コプレーナ線路 3 の信号線 3 s とグラウンド線 3 g1, 3 g2 の一部分に共通に対向させて配置されている。この可動体 6 は、基板 2 に対して遠近方向に変位が可能となるように梁 7（7 a, 7 b）と支持部 8（8 a, 8 b）を介して上部部材 4 に支持されている。

#### 【0013】

可動体 6 は杵形状を有しており、可動体 6 における基板 2 側の面には、例えば Au 等の導体膜から成る 2 つの可動電極 10（10 a, 10 b）が形成されている。これらの可動電極 10 a, 10 b は、互いにコプレーナ線路 3 の信号導通方向（信号線 3 s の長手方向）に間隔を介して配列している。図 2（a）には、基板 2 上に配置された可動体 6 の配置構成が梁 7（7 a, 7 b）および支持部 8（8 a, 8 b）と共に模式的な斜視図により示されており、図 2（b）にはその A-A' 断面図が示されている。

#### 【0014】

また、図 3（a）には上部部材 4 の上方側から見た可動体 6 および可動電極 10 とコプレーナ線路 3 との配置関係例が簡略化して示され、また、図 3（b）にはその可動電極 10（10 a, 10 b）とコプレーナ線路 3 を横側から見た

配置関係例が示されている。これらの図示の如く、可動電極 10 (10 a, 10 b) は、それぞれ、コプレーナー線路 3 のグランド線 3 g1 から信号線 3 s を介しグランド線 3 g2 にかけて跨ぐように、かつ、それら線路 3 s, 3 g1, 3 g2 と間隔を介し対向させて形成されている。

#### 【0015】

信号線 3 s やグランド線 3 g1, 3 g2 の幅や間隔は特に限定されるものではないが、一例を挙げると、図 3 (a) に示すように、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれている領域における信号線 3 s とグランド線 3 g1, 3 g2 の間隔 (ギャップ)  $W1 = W3 = 41 \mu\text{m}$ 、信号線 3 s の幅  $W2 = 30 \mu\text{m}$  であり、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれていない領域における信号線 3 s とグランド線 3 g1, 3 g2 の間隔  $W4 = W6 = 31 \mu\text{m}$ 、信号線 3 の幅  $W5 = 50 \mu\text{m}$  である。このように、第 1 実施形態例において、可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれている領域の信号線 3 s の幅を可動電極 10 a, 10 b 間に挟まれていない領域の信号線 3 s の幅よりも狭く形成している。また、信号線 3 s の長さは 2 mm としている。

#### 【0016】

図 1 (b) に示すように、この第 1 実施形態例では、可動電極 10 (10 a, 10 b) の表面には保護用の絶縁膜 11 が形成されている。この絶縁膜 11 は、例えば SiN 等の絶縁体により構成され、膜厚が例えば  $0.1 \mu\text{m}$  程度という如く、非常に薄い膜である。

#### 【0017】

さらにまた、上部部材 4 には、可動体 6 に対向する部位に、凹部 4 a が形成されており、この凹部 4 a の内壁面には可動体 6 に対向する可動用固定電極 12 (12 a, 12 b) が形成されている。また、上部部材 4 には、当該上部部材 4 の表面から可動用固定電極 12 a, 12 b に至るスルーホール 13 a, 13 b が形成され、また、上部部材 4 の表面から支持部 8 (8 b) に至るスルーホール 13 c が形成されている。さらに、上部部材 4 の表面には、各スルーホール 13 a, 13 b, 13 c にそれぞれ接続する電極パッド 14 a, 14 b, 14 c が形成されている。

#### 【0018】



この第 1 実施形態例において、可動体 6 は高抵抗半導体により構成されている。高抵抗半導体とは、高周波信号（例えば約 5 GHz 以上の信号）に対しては絶縁体として振る舞い、低周波信号（例えば約 100 kHz 以下の信号）および直流信号に対しては電極として振る舞うことができる高い抵抗率を有する半導体である。この第 1 実施形態例では、可動体 6 を構成する高抵抗半導体は、 $1000\ \Omega\text{cm}$  以上、かつ、 $10000\ \Omega\text{cm}$  以下の範囲内の抵抗率を有している。

#### 【0 0 1 9】

また、高抵抗半導体の一例である高抵抗シリコンは、誘電体損失 ( $\tan \delta$ ) に関して次のような性質を有する。つまり、図 8 の実線 B に示す如く、ガラス等の絶縁体は、高周波領域において、周波数が高くなるに従って誘電体損失が大きくなるのに対して、高抵抗シリコンは、図 8 の実線 A に示すように、周波数が高くなるに従って誘電体損失が小さくなるというものである。なお、図 8 のグラフにおいて、実線 A は、抵抗率  $2000\ \Omega\text{cm}$  を持つ高抵抗シリコンに関するものであり、実線 a により囲まれている領域内の値は実験値であり、それ以外は文献値である。また、実線 B はパイレックス（登録商標）ガラスに関する文献値である。

#### 【0 0 2 0】

この第 1 実施形態例では、コプレーナ線路 3 を流れる信号は 5 GHz 以上の高周波信号であり、この高周波信号に対しては、高抵抗半導体から成る可動体 6 は、当該可動体 6 を絶縁体により構成する場合と同等、あるいは、それ以上の良好な誘電体損失の特性を有する。

#### 【0 0 2 1】

前記の如く、高抵抗半導体から成る可動体 6 は、直流信号（直流電圧）に対しては当該可動体 6 自体を電極として機能させることができることから、この第 1 実施形態例では、電極としての可動体 6 と、可動用固定電極 1 2 a, 1 2 b とによって、可動体 6 を変位させる可動体変位手段が構成されている。つまり、電極パッド 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c とスルーホール 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c を介して外部から直流電圧（例えば 5 V 程度の直流電圧）を可動体 6 と可動用固定電極 1 2 (1 2 a, 1 2 b) 間に印加すると、当該可動体 6 と可動用固定電極 1 2 間に静電引力が発生する。この静電引力によって可動体 6 は、図 1 (b) の矢印 B に

示すように、可動用固定電極 12 側に引き寄せられる。このように、可動体 6 と可動用固定電極 12 により静電引力を利用して可動体 6 を変位させることができる。

#### 【0022】

また、前記外部からの直流電圧が可動体 6 と可動用固定電極 12 (12a, 12b) 間に印加されずに、例えば可動電極 10 上の絶縁膜 11 がコプレーナ線路 3 に接触している、または、近接している状態では、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の間隔は絶縁膜 11 の厚み (例えば  $0.1 \mu\text{m}$ ) 程度というように非常に狭く、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の静電容量は大きくなる。

#### 【0023】

ところで、従来の RF MEMS スイッチは、例えば図 10 (a)、(b) に示すように、1つの可動電極 10 を有している。なお、図 10 (b) は図 10 (a) の A-A' 断面図であり、図 10 (a) は、1つの可動電極 10 を有する RF MEMS スイッチにおいて、基板 2 上に配置された可動体 6 の配置構成を梁 7 (7a, 7b) および支持部 8 (8a, 8b) と共に斜視図により模式的に示す。この場合、可動電極とコプレーナ線路の配置関係は、図 11 (a) の平面図および図 11 (b) の側面図に示すようになる。

#### 【0024】

また、図 12 (a) には図 11 (b) に示される可動電極 10 およびコプレーナ線路 3 の等価回路が示されている。なお、これらの図において、 $C_1$  は可動電極 10 とグランド線 3g1 間の静電容量を示し、 $C_2$  は可動電極 10 とグランド線 3g2 間の静電容量を示し、 $C_3$  は可動電極 10 と信号線 3s 間の静電容量を示している。また、 $LS_1$ ,  $RS_1$  は、それぞれ、可動電極 10 のグランド線 3g1 側のインダクタンス値、抵抗値を示し、 $LS_2$ ,  $RS_2$  は、それぞれ、可動電極 10 のグランド線 3g2 側のインダクタンス値、抵抗値を示す。

#### 【0025】

図 12 (a) の等価回路を整理すると、図 12 (b) に示すように表すことができる。なお、近似的に、静電容量  $C$  は、 $C = 1 / ( (1 / (C_1 + C_2)) + (1 / C_3) )$  の数式に基づくものであり、インダクタンス  $LS$  は、 $LS = 1 /$

$(1/L_{S1}) + (1/L_{S2})$  の数式に基づくものであり、抵抗  $R_S$  は、 $R_S = 1 / ((1/R_{S1}) + (1/R_{S2}))$  の数式に基づくものである。

#### 【0026】

第1実施形態例のRF MEMSスイッチ1においても、1つの可動電極10とコプレーナ線路3の等価回路は上記と同様であり、第1実施形態例の場合、2つの可動電極10(10a, 10b)を、互いにコプレーナ線路3の信号導通方向に間隔を介して配列している。したがって、この第1実施形態例のRF MEMSスイッチ1を等価回路で整理して示すと、図4(a)に示すようになる。

#### 【0027】

第1実施形態例のRF MEMSスイッチ1は、可動体6が基板2側に下がっていて可動電極10とコプレーナ線路3間の間隔が狭く、当該可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量Cが大きくなったときに、図4(a)の等価回路におけるLCの直列共振周波数fが信号線3sを流れる高周波信号の周波数と同じ又は近い値になるように、つまり、可動電極10のダウン時の等価直列容量を $C_{DOWN}$ としたとき、 $f = 1 / \{2\pi\sqrt{(L_S C_{DOWN})}\}$  となるように設計される。なお、一般に、図10に示した構成の可動電極10を有する比較例のRF MEMSスイッチも、図12(b)に示した等価回路において同様の設計が行われる。

#### 【0028】

その結果、可動電極10のダウン時は、信号線3s側から可動電極10を介してグランド側を見たときのLC回路部分のインピーダンス(可動電極10の近傍のコプレーナ線路3の信号線3sとグランド間のインピーダンス)が非常に小さくなり、極小値( $R_s = 0.1 \sim 1 \Omega$ )となる。つまり、信号線3sから可動電極10を介してグランド側を見たときに短絡と等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路3の信号の導通がオフする。なお、図13(a)、(b)には、1つの可動電極10を有するRF MEMSスイッチの要部構成図によって、可動電極10がDOWN(ダウン)しているときの信号導通オフ状態が矢印Dにより模式的に示されている。

## 【0029】

また、可動体6が基板2から離れる方向に（つまり、上側に）変位して、可動電極10とコプレーナ線路3間の間隔が例えば $3\mu\text{m}$ 程度に広がると、可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量Cが小さくなり、信号線3s側から可動電極10を介してグランド側を見たときのインピーダンスが非常に大きくなる。つまり、信号線3sから可動電極10を介してグランド側を見たときにオープンと等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路3の信号の導通はオンする。なお、図13（a）、（b）には、上記可動電極10のDOWN時と同様に、可動電極10がUP（アップ）しているときの電流の流れが、矢印Uにより模式的に示されている。

## 【0030】

ところで、第1実施形態例は、2つ可動電極10a、10b間のコプレーナ線路3が、系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、コプレーナ線路3に導通される高周波信号の波長の $1/4$ 以下の長さの伝送線路として機能することを特徴としており、2つ可動電極10a、10b間のコプレーナ線路3は整合回路として機能する。

## 【0031】

具体的には、2つの可動電極10a、10b間に位置するコプレーナ線路3の特性インピーダンスおよび線路長は、可動電極10a、10bがアップ時に、最も信号が通りやすくなるように、つまり、反射が極小になるように、以下のような式（1）、（2）にしたがって最適設計（整合設計）が行われている。

## 【0032】

$$Z_1 = Z_0 / \sin \theta \cdots \cdots (1)$$

## 【0033】

$$1 / (\omega C_{UP}) - \omega L_S = Z_0 / \cos \theta \cdots \cdots (2)$$

## 【0034】

ここで、 $Z_0$ は系のインピーダンス、 $\theta$ は2つの可動電極10（10a、10b）間のコプレーナ線路3の線路長（電気長）であり、 $\theta$ が90度で $\lambda/4$ となる（ $\lambda$ はコプレーナ線路3に導通される高周波信号波長）。また、 $\omega$ はコプ

レーナー線路 3 に導通される高周波信号の角周波数、 $C_{UP}$  は可動電極 10 (10a, 10b) アップ時における可動電極一つ当たりの等価直列容量、 $L_S$  は可動電極一つ当たりの等価直列インダクタンスである。

#### 【0035】

ここで、その一例を、図 3 (a) を参照しながら説明する。 $Z_0 = 50 \Omega$  (例えば、信号線 3s の線路幅  $W_5$  が  $50 \mu m$  で、信号線 3s とグランド線 3gl, 3g2 の間隔 (ギャップ)  $W_4$ 、 $W_6$  が  $31 \mu m$  の場合)、 $\theta = 53^\circ$  (例えば可動電極 10a, 10b 間の信号線 3s の長さ  $l_2$  が  $232 \mu m$  で高周波信号周波数が  $76.5 GHz$  の場合)、 $Z_1 = 63 \Omega$  (例えば、可動電極 10a, 10b 間の信号線 3s の線路幅  $W_2$  が  $30 \mu m$  で、信号線 3s とグランド線 3gl, 3g2 の間隔  $W_1$ 、 $W_3$  が  $41 \mu m$  の場合)、 $l_1$ 、 $l_3$  の長さを、それぞれ、 $l_1 = 844 \mu m$ 、 $l_3 = 924 \mu m$  とし、 $R_S = 0.25 \Omega$ 、 $C_{UP} = 20 fF$ 、 $L_S = 43.28 pH$  となるようにした場合、高周波信号周波数に対応する挿入損失は図 5 の特性線 a に示すようになり、反射損失は図 6 の特性線 b に示すようになる。なお、図 3 (a) は模式図であり、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$  は、上記値に対応した長さに示されていない。

#### 【0036】

図 5、図 6 の特性線 b は、図 10 に示したような、1 つの可動電極 10 を有する RF MEMS スイッチ 1 における上記挿入損失と反射損失をそれぞれ示しており、この特性線 b は、 $Z_0 = 50 \Omega$  とし、図 11 (a) に示す  $l_1$ 、 $l_2$  の長さをそれぞれ、 $l_1 = 1000 \mu m$ 、 $l_2 = 1000 \mu m$  とし、 $R_S = 0.25 \Omega$ 、 $C_{UP} = 20 fF$ 、 $L_S = 43.28 pH$  として求めている。

#### 【0037】

図 5、図 6 に示すように、第 1 実施形態例の RF MEMS スイッチ 1 は、複数の可動電極 10 (10a, 10b) を同時に変位させることにより、1 つの可動電極 10 を有する比較例に比べ、コプレーナー線路 3 に入力される高周波信号波長が  $76.5 GHz$  を中心にして反射損失を格段に向上でき、挿入損失も低減することができる。

#### 【0038】

また、第1実施形態例において、可動電極10a, 10bのダウン時には、信号は遮断されるが、このときのアイソレーション特性は図7の特性線aに示すようになり、同図の特性線bに示す比較例（1つの可動電極10を設けて形成されるRF MEMSスイッチ）の特性に比べ、アイソレーション特性も向上できている。なお、図7の特性線a、bは、それぞれ、 $C_{DOWN}=100\text{ fF}$ とした以外は、図5、図6の特性線a、bを求めた条件と同様の条件でアイソレーションを求めた結果である。

#### 【0039】

以上のように、この第1実施形態例のRF MEMSスイッチ1は、可動体6を、静電引力を利用して変位させることによりコプレーナ線路3の信号導通のオン・オフを行うことができ、かつ、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができる。

#### 【0040】

また、この第1実施形態例では、単一の可動体6に2つの可動電極10を形成しており、この可動体6を支持する梁7や支持部8の構成等は1つの可動電極10を有するRF MEMSスイッチと同様に形成でき、小さい消費電力で2つの可動電極10a, 10bを同時に動かしてスイッチング動作できる。

#### 【0041】

さらに、この第1実施形態例では、可動体6が高抵抗半導体により構成されているので、前記の如く、可動体6自体が可動体変位手段の電極として機能することができる。これにより、可動体6に、可動体変位手段を構成するための電極を形成しなくてすむので、RF MEMSスイッチ1の構造および製造工程の簡略化をより一層図ることができ、RF MEMSスイッチ1の低コスト化を図ることができる。

#### 【0042】

また、高抵抗半導体から成る可動体6は、高周波信号に対しては絶縁体の如く振る舞い、その誘電体損失（ $\tan\delta$ ）は絶縁体と同等、あるいは、それ以上に良好となることから、高周波信号の伝搬ロスを低減することができる。近年、信号は高周波化の傾向にあり、可動体6を絶縁体により構成すると、信号の高周波化

により可動体 6 の誘電体損失は大きくなって（図 8 の実線 B 参照）可動体 6 に因る信号の伝搬ロスの増加が懸念されるが、この第 1 実施形態例の如く、可動体 6 を高抵抗半導体により構成することにより、信号が高周波化するにつれて可動体 6 の誘電体損失が小さくなることから（図 8 の実線 A 参照）、信号の高周波化により可動体 6 に因る信号の伝搬ロスを低減することができる。このように、この第 1 実施形態例の構成は、今後、非常に有効となるものである。

#### 【0043】

さらに、例えば仮にコプレーナ線路 3 と可動電極 10（10a, 10b）が直接接触により結合する構成とすると、LC 共振を使用していないため、周波数に影響されずに帯域幅の広いアイソレーション特性を有するスイッチが可能となる。その一方で、抵抗値  $R_S$  に接触抵抗成分が含まれて抵抗値  $R_S$  が大きくなってしまふ。これにより、信号のロスが増加する。これに対して、この第 1 実施形態例では、コプレーナ線路 3 と可動電極 10（10a, 10b）は静電容量を介して結合する構成であるので、コプレーナ線路 3 と可動電極 10（10a, 10b）間に接触抵抗は発生せず、信号のロスを抑制することができる。

#### 【0044】

以下に、第 2 実施形態例を説明する。なお、この第 2 実施形態例の説明において、第 1 実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

#### 【0045】

この第 2 実施形態例は、上記第 1 実施形態例とほぼ同様に構成されており、第 2 実施形態例が上記第 1 実施形態例と異なる特徴的なことは、図 1 に示したような、可動体 6 を外部と導通させるためのスルーホール 13c と電極パッド 14c が省略されていることである。この構成により、可動体 6 は電氣的に浮遊した構成となっている。

#### 【0046】

第 2 実施形態例のそれ以外の構成は第 1 実施形態例と同様であり、第 1 実施形態例と同様の動作により同様の効果を奏することができる。また、第 2 実施形態例は、上記スルーホール 13c と電極パッド 14c を省略した構成により、第 1

実施形態例の構成よりも、構造を簡略化することができる。また、製造コストを低減することができる。

#### 【0 0 4 7】

以下に、第3実施形態例を説明する。なお、この第3実施形態例の説明において、第1や第2の各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

#### 【0 0 4 8】

この第3実施形態例では、可動用固定電極12を可動体6の上方側に設けるのではなく、図9に示すように、可動用固定電極12（12a，12b）は、可動体6の下方側、つまり、基板2上に、可動体6の一部分に対向させて設けられている。第1や第2の各実施形態例では、可動用固定電極12を可動体6の上方側に配置するために上部部材4が形成されていたが、この第3実施形態例では、可動用固定電極12が基板2上に形成される構成であるために、上部部材4を設けなくとも済むので、当該上部部材4は省略されている。また、可動体6は、上部部材4に支持されるのに代えて、梁7を介して、基板2に固定されている固定部16（16a，16b）に支持されている。

#### 【0 0 4 9】

この第3実施形態例では、可動用固定電極12は可動体6上に形成されているために、可動体6と可動用固定電極12間に直流電圧を印加すると、可動体6は基板2側に引き寄せられる構成となる。このため、可動体6と可動用固定電極12間に直流電圧を印加していないときには、図9に示すように、可動電極10上の絶縁膜11と、コプレーナ線路3との間には間隙が形成される状態となる。

#### 【0 0 5 0】

この第3実施形態例では、上部部材4を省略することができるので、構造および製造工程の簡略化を図ることができる。

#### 【0 0 5 1】

なお、この第3実施形態例では、上部部材4が省略されていたが、例えば可動体6の保護や気密封止を図る観点から、この第3実施形態例の如く可動用固定電極12を基板2上に形成する構成とした場合においても、第1や第2の各実施形



態例と同様に上部部材 4 およびその固定部 5 を設けてもよい。

#### 【 0 0 5 2 】

なお、この発明は第 1 ～第 3 の各実施形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、第 1、第 2 実施形態例では、上部部材 4 を基板 2 に固定する固定部 5 は基板 2 の両端側にそれぞれ設けられていたが、固定部 5 の配設形態は特に限定されるものではなく、例えば可動体 6 の配設領域を囲うように、基板 2 の辺に沿った態様で設けてもよい。このような配設形態の固定部 5 と上部部材 4 を設けると、可動体 6 の配設領域を気密封止できるので好ましい。

#### 【 0 0 5 3 】

また、第 1 ～第 3 の各実施形態例では、高周波信号導通部として、コプレーナ線路が設けられている例を示したが、高周波信号導通部として、コプレーナ線路以外の例えばマイクロストリップ線路等の線路を形成してもよい。

#### 【 0 0 5 4 】

さらに、各実施形態例では、可動体 6 を構成する高抵抗半導体として、高抵抗のシリコンを例に挙げたが、シリコン以外の例えば GaAs 等の高抵抗の半導体により、可動体 6 を構成してもよいものである。

#### 【 0 0 5 5 】

さらに、可動体 6 は、高抵抗半導体により構成される代わりに、高周波信号に対して絶縁性を有する半導体又は絶縁体により構成されていてもよい。この場合は、例えば図 9 の鎖線で示すように、可動体 6 に、可動用固定電極 1 2 に対応した位置に可動体変位用可動電極 2 0 を形成し、この可動体変位用可動電極 2 0 と可動用固定電極 1 2 とが、当該可動用固定電極 1 2 と可動体変位用可動電極 2 0 間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極 1 2 側に変位させる可動体変位手段を構成すればよい。

#### 【 0 0 5 6 】

さらに、第 1 ～第 3 の各実施形態例では、可動電極 1 0 上に絶縁膜 1 1 が形成されていたが、例えば、絶縁膜 1 1 を可動電極 1 0 に設けるのに代えて、コプレーナ線路 3 における少なくとも可動電極 1 0 に対向する部分に絶縁膜 1 1 を形

成してもよいし、また、対向し合う可動電極 10 とコプレーナ線路 3 の両方の表面に絶縁膜 11 を形成してもよい。

#### 【0057】

さらに、第 1～第 3 の各実施形態例では、1つの可動体 6 に 2つの可動電極 10 を形成したが、1つの可動体 6 に 3つ以上の可動電極 10 を形成してもよい。また、1つの可動体 6 に 1つの可動電極 10 を形成し、この可動体 6 を複数設けることによって、可動電極 10 を互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列してもよいし、複数の可動電極 10 を形成した可動体 6 を複数設けて、可動電極 10 を互いに高周波信号導通部の信号導通方向に間隔を介して配列してもよい。

#### 【0058】

さらに、上記各実施形態例のように、複数の可動電極間の高周波信号導通部が整合回路として機能する場合は、可動電極間の高周波信号導通部が導通される高周波信号波長の  $1/4$  の長さの伝送線路として機能することが望ましいが、アイソレーションを目的とする場合は、可動電極間の高周波信号導通部が上記高周波信号波長の  $1/4$  よりかなり短い長さの伝送線路として機能するようにしてもよい。

#### 【0059】

さらに、上記各実施形態例はシャントスイッチとしたが、本発明の RF MEMS スイッチは、互いに対向するコプレーナ線路 3 等の高周波信号導通部と可動電極 10 の少なくとも一部が互いに直接接触と離間とを行うことにより高周波信号導通部の信号の導通オン・オフを制御する構成としてもよい。この場合、例えば 2つの可動電極 10 を設けて形成される RF MEMS スイッチの等価回路は図 4 (b) に示される回路となる。

#### 【0060】

##### 【発明の効果】

この発明によれば、静電引力を利用して基板上の高周波信号導通部に対して遠近方向に変位する可動体に形成される可動電極を互いに高周波信号の導通方向に間隔を介して複数設け、これら複数の可動電極間の高周波信号導通部が系のイン

ピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、高周波信号導通部に導通される高周波信号波長の  $1/4$  以下の長さの伝送線路として機能するものであるから、スイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を十分に行うことができる。

#### 【0 0 6 1】

また、単一の可動体を有してこの可動体に複数の可動電極を形成したものにあっては、小さい消費電力で R F MEMS スイッチを動作でき、単一の可動体を有して該可動体に 1 つの可動電極を形成して成る R F MEMS スイッチに比べるコスト増もほとんど無く、上記スイッチとしての特性向上を十分に行うことができる。

#### 【0 0 6 2】

さらに、複数の可動体を有してこれらの可動体にそれぞれ複数の可動電極を形成したものにあっては、上記スイッチとしての特性をより一層向上させることができる。

#### 【0 0 6 3】

さらに、可動体を高抵抗半導体により構成しているものにあっては、可動体は低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞うことができるので、可動体自体を可動体変位手段の電極として機能させることができる。これにより、可動体に可動体変位手段の電極を形成しなくて済むこととなるので、R F MEMS スイッチの構造および製造工程の簡略化を図ることができる。また、このように可動体を高抵抗半導体により構成しているものにあっては、当該高抵抗半導体は、高周波信号に対しては非常に低い誘電体損失を持つ性質であることから、信号のロスを低減することが可能となる。

#### 【0 0 6 4】

さらに、対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には絶縁膜が形成されているものにあっては、高周波信号導通部あるいは可動電極の保護を図ることができる。また、高周波信号導通部と可動電極は接触することがないので、高周波信号導通部と可動電極の接触による接触抵抗に起因した信号のロスを確実に防止することができる。

**【0065】**

さらに、高周波信号導通部はコプレーナ線路とマイクロストリップ線路のうちの一方側と成し、RF MEMSスイッチはシャントスイッチ素子であるものにあつては、コプレーナ線路やマイクロストリップ線路を流れる高周波信号導通オン・オフを上記のように、低挿入損失、低反射損失、高アイソレーションで行うことができるシャントスイッチ素子を実現できる。

**【0066】**

さらに、RF MEMSスイッチは、互いに対向する高周波信号導通部と可動電極の少なくとも一部が互いに直接接触と離間とを行うことにより高周波信号導通部の信号の導通オン・オフを制御するものにあつては、LC共振を使用していないため、周波数に影響されずに帯域幅の広いアイソレーション特性を有するスイッチが可能となる。

**【0067】**

さらに、高周波信号導通部との間に静電容量を発生させる可動電極と、この可動電極が設けられている可動体を静電引力を利用して変位させるための可動体変位用可動側電極とをそれぞれ独立に設計することができ、電極設計の自由度を高めることができる。

**【図面の簡単な説明】****【図1】**

第1実施形態例のRF MEMSスイッチを説明するための図である。

**【図2】**

第1実施形態例のRF MEMSスイッチにおける可動体の配置構成を示す説明図である。

**【図3】**

第1実施形態例のRF MEMSスイッチを構成する可動電極とコプレーナ線路を抜き出して当該可動電極とコプレーナ線路の配置関係の一例を示す模式的に示すモデル図である。

**【図4】**

第1実施形態例のRF MEMSスイッチを構成する可動電極とコプレーナ

線路部分の等価回路図（a）と、その他の実施形態例における可動電極とコプレーナ線路部分の等価回路の一例を示す図（b）である。

【図 5】

第 1 実施形態例とその比較例の R F M E M S スイッチにおける信号導通時の挿入損失特性を示すグラフである。

【図 6】

第 1 実施形態例とその比較例の R F M E M S スイッチにおける信号導通時の反射損失特性を示すグラフである。

【図 7】

第 1 実施形態例とその比較例の R F M E M S スイッチにおける信号遮断時のアイソレーション特性を示すグラフである。

【図 8】

高抵抗半導体における周波数と誘電体損失（ $\tan \delta$ ）の関係例をガラスの場合と比較して示すグラフである。

【図 9】

第 3 実施形態例の R F M E M S スイッチを説明するための説明図である。

【図 1 0】

比較例の R F M E M S スイッチにおける可動体の配置構成を示す説明図である。

【図 1 1】

比較例の R F M E M S スイッチを構成する可動電極とコプレーナ線路を抜き出して当該可動電極とコプレーナ線路の配置関係の一例を示すモデル図である。

【図 1 2】

比較例の R F M E M S スイッチを構成する可動電極とコプレーナ線路部分の等価回路図である。

【図 1 3】

比較例の R F M E M S スイッチにおける信号導通オン・オフ状態を説明するための模式図である。

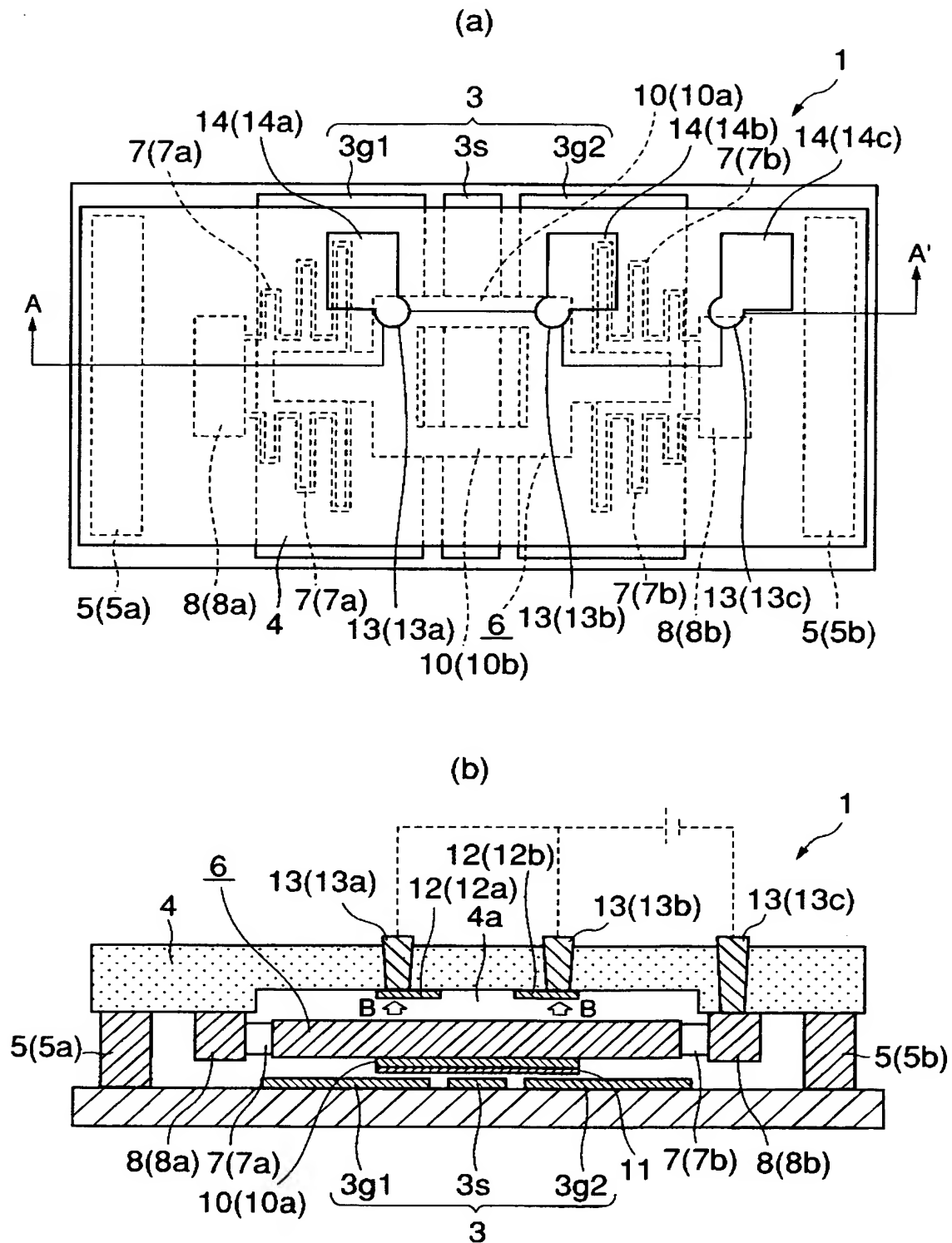
## 【符号の説明】

- 1 R F MEMS スイッチ
- 2 基板
- 3 コプレーナ線路
- 4 上部部材
- 6 可動体
- 1 0 可動電極
- 1 1 絶縁膜
- 1 2 可動用固定電極
- 2 0 可動体変位用可動電極

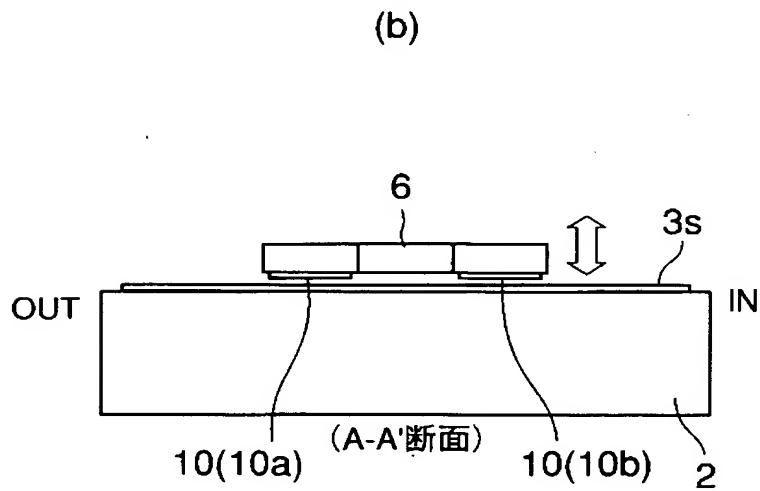
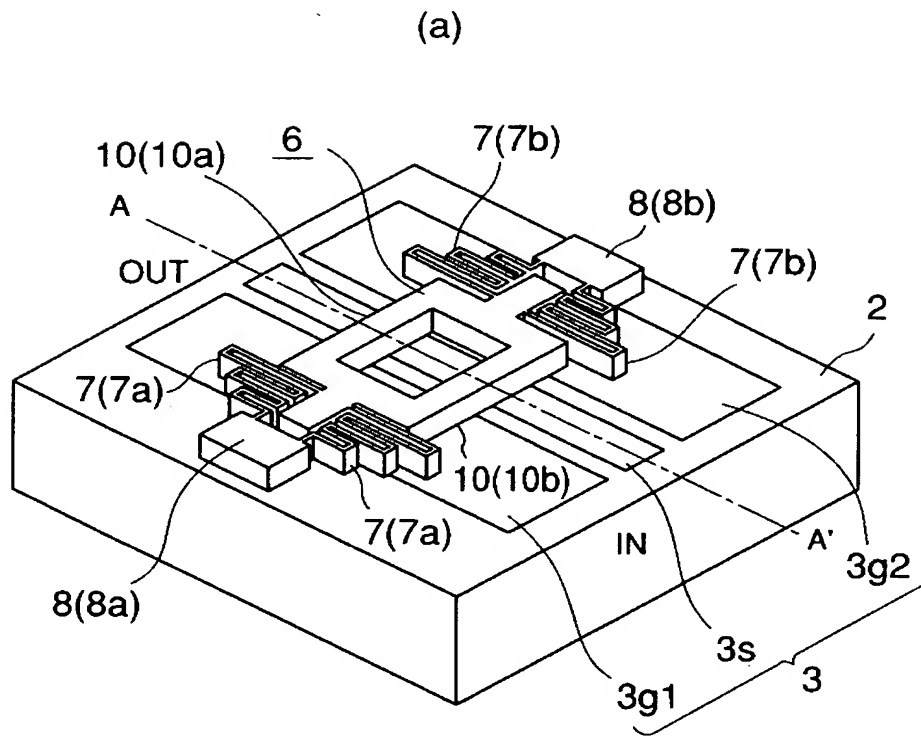
【書類名】

図面

【図 1】

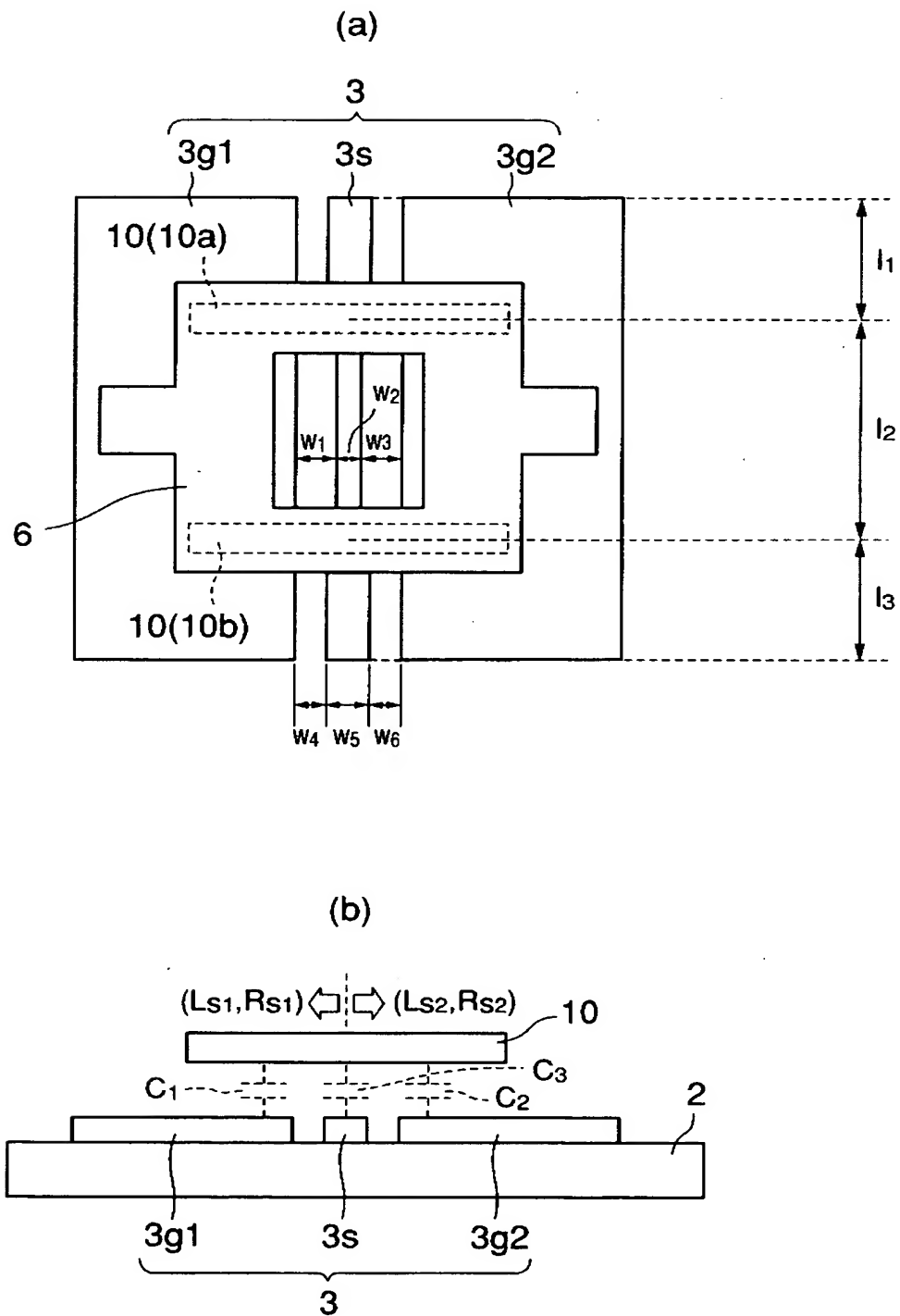


【図 2】



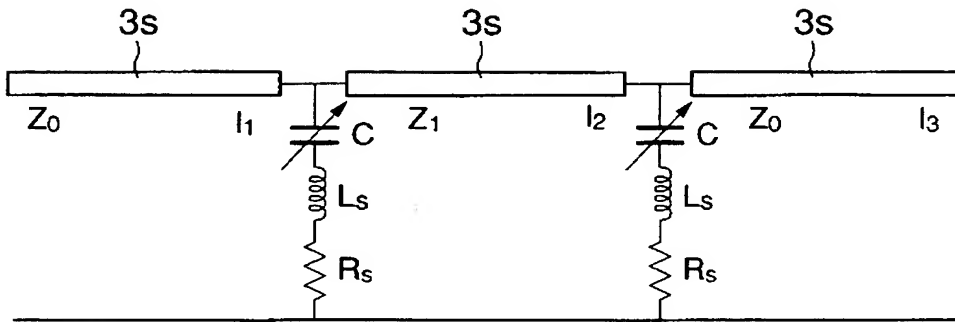


【図 3】

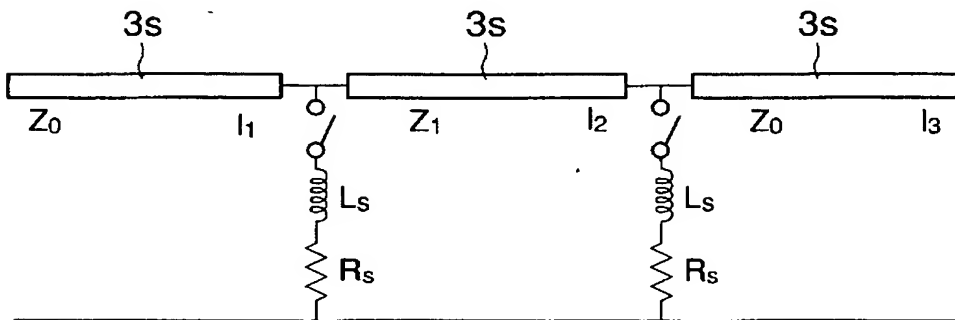


【図 4】

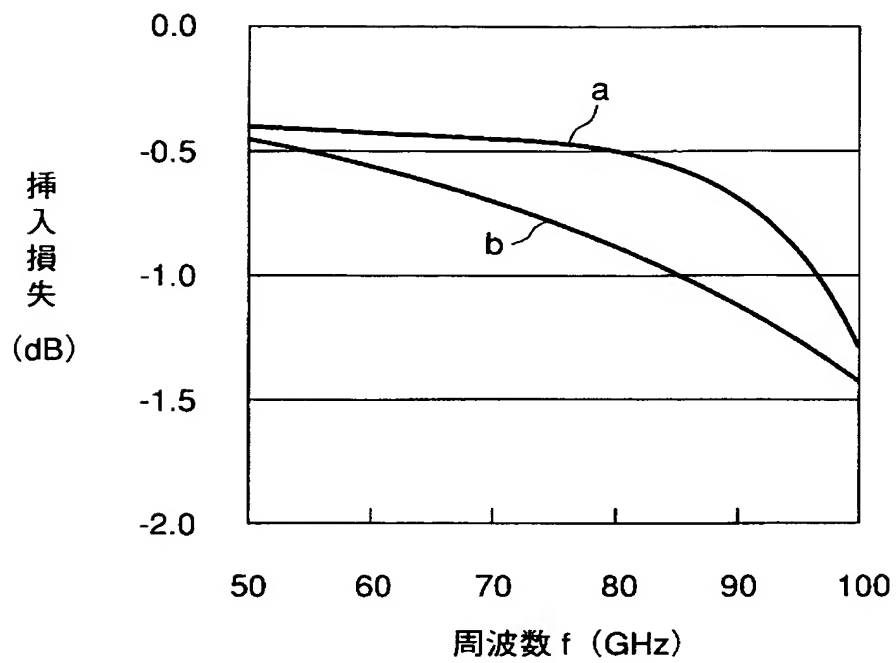
(a)



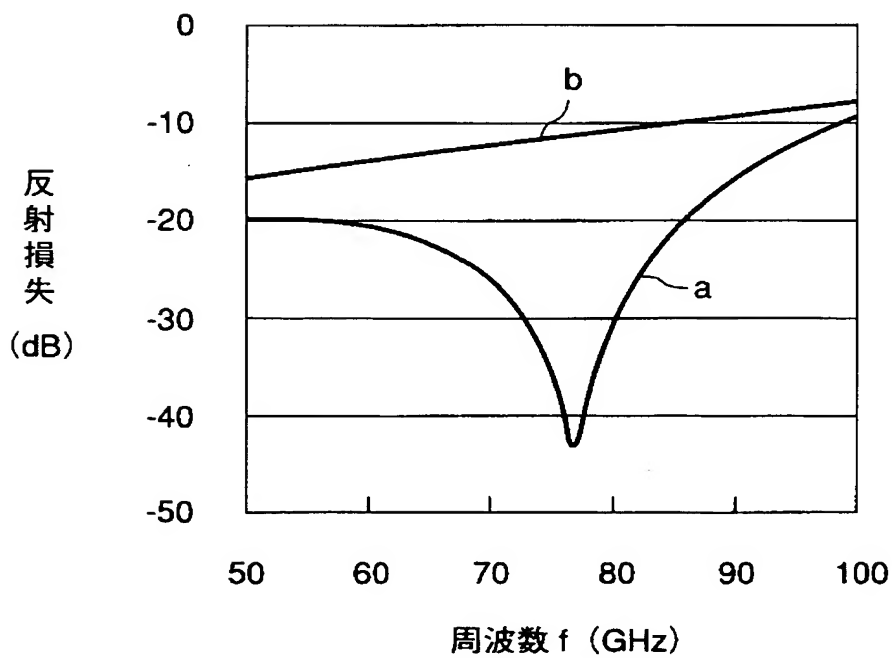
(b)



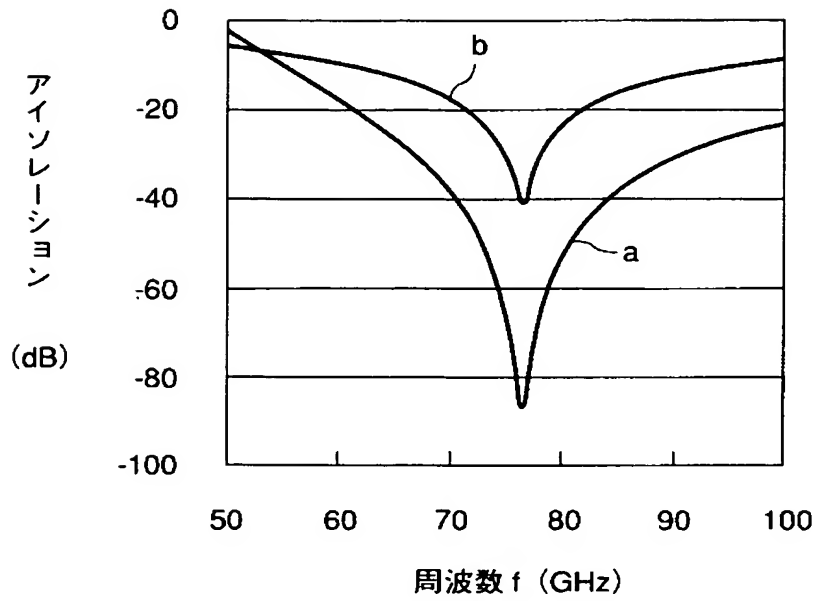
【図 5】



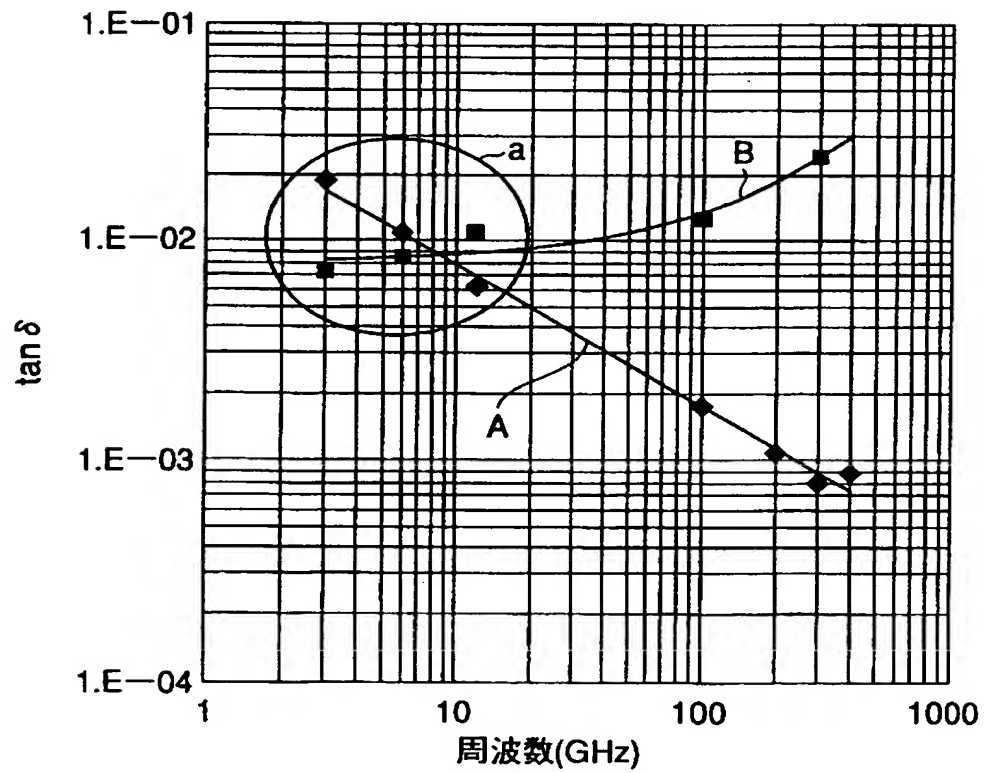
【図 6】



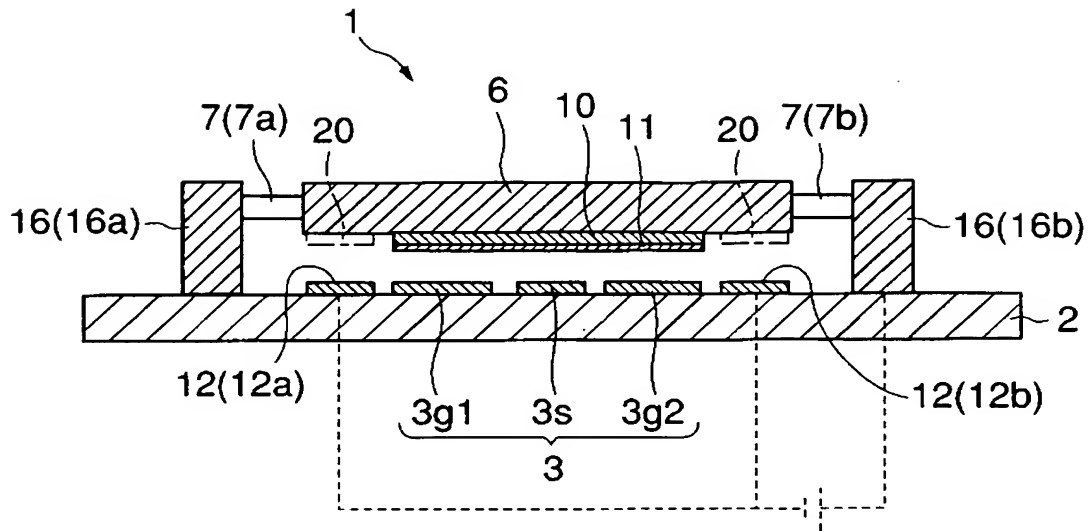
【図 7】



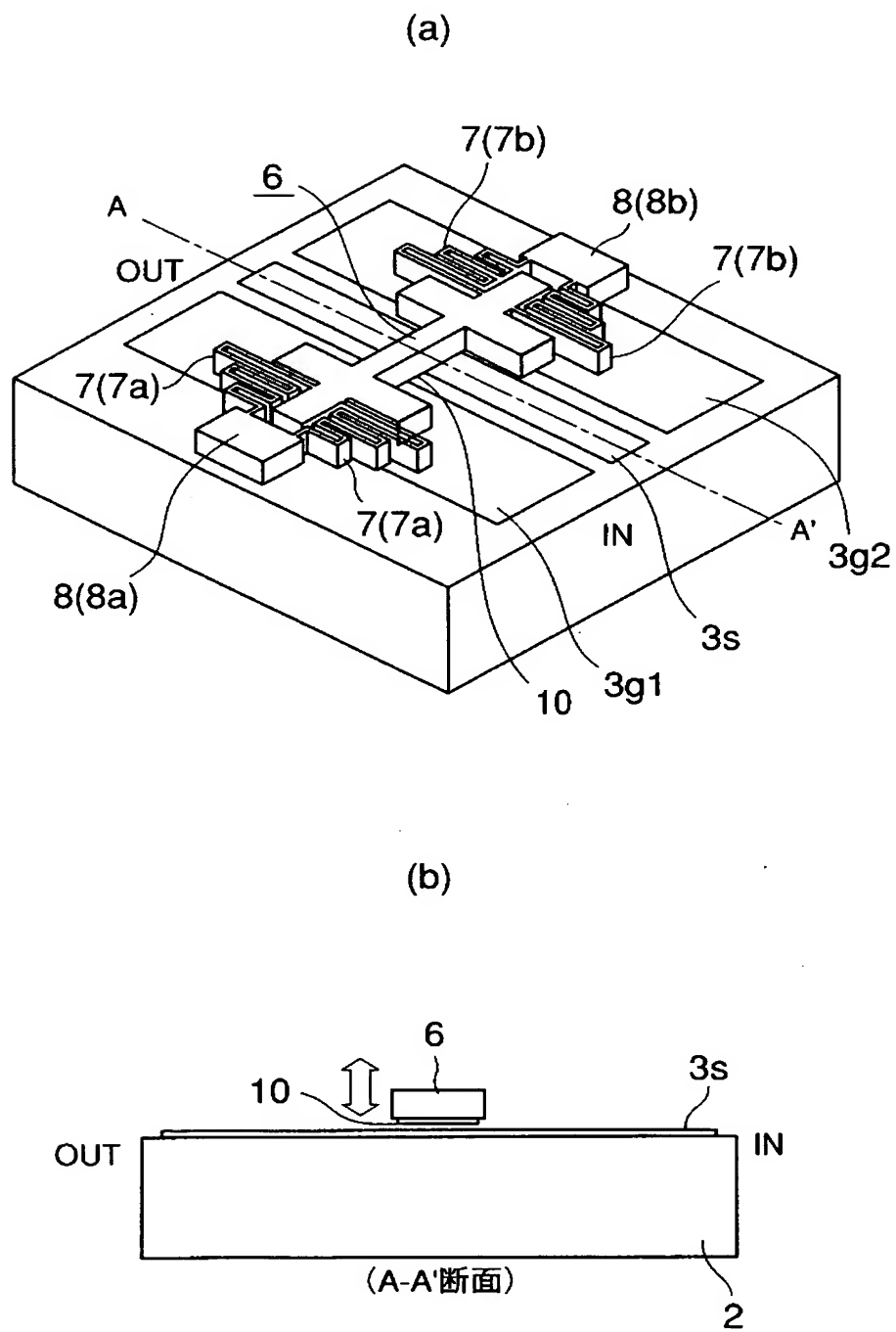
【図 8】



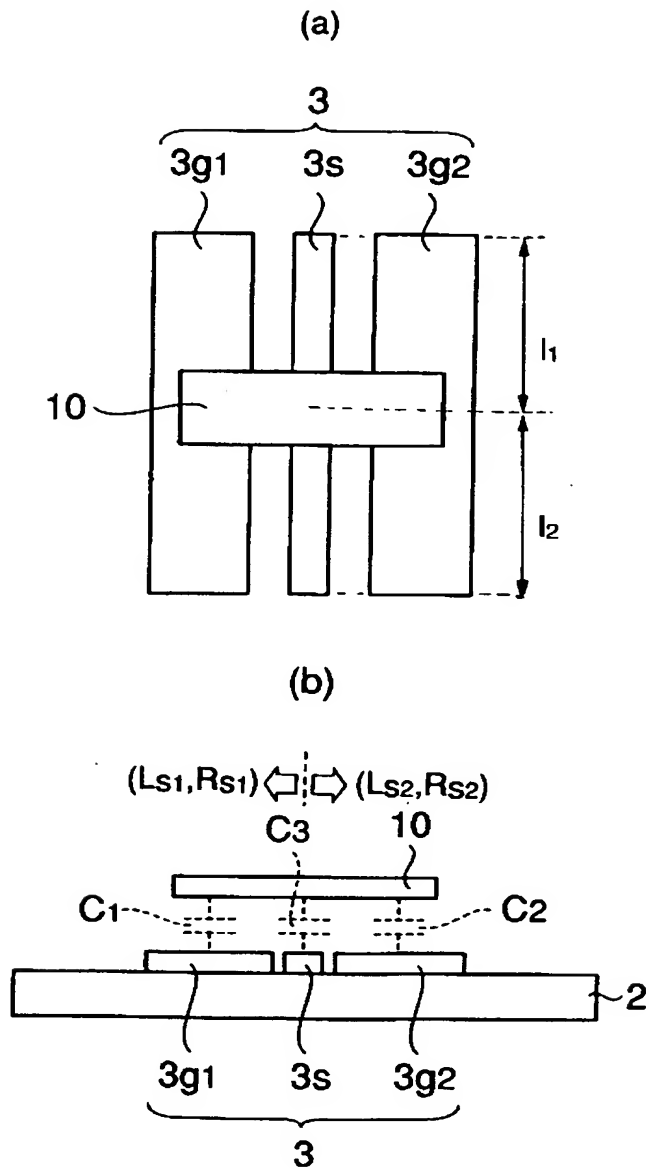
【図 9】



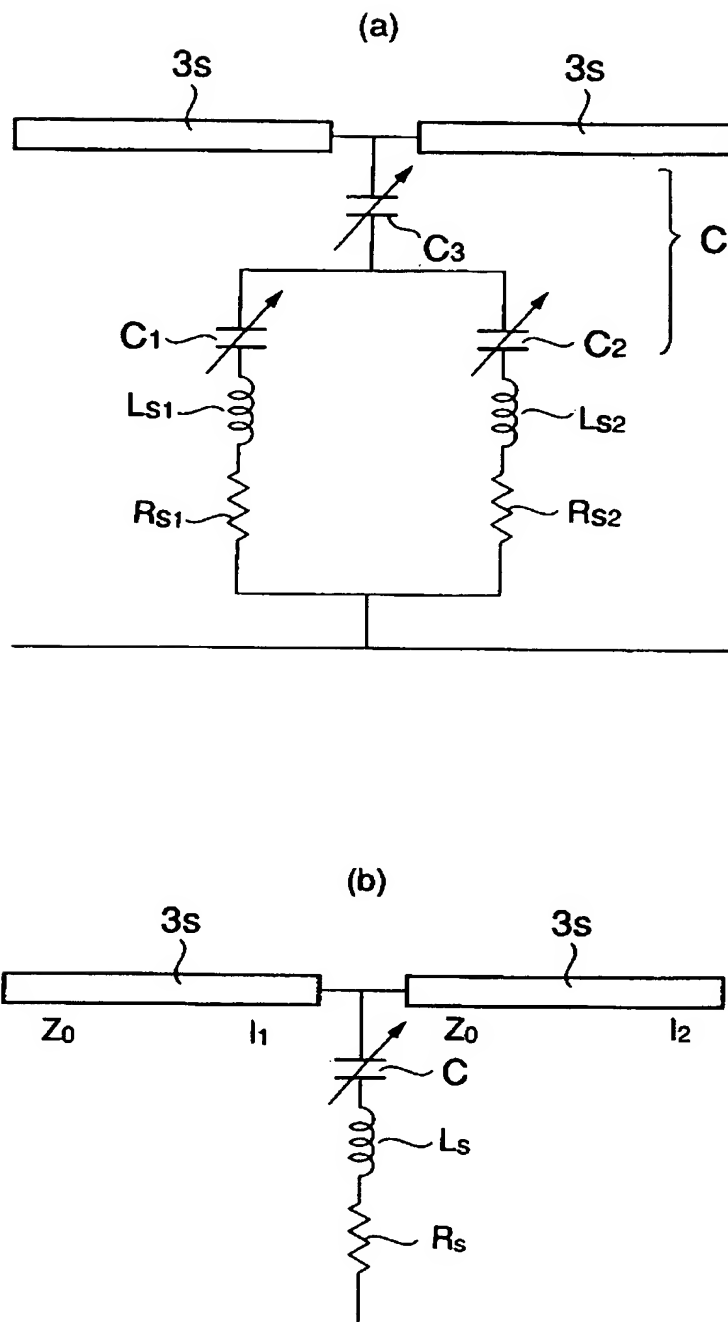
【図 10】



【図 11】



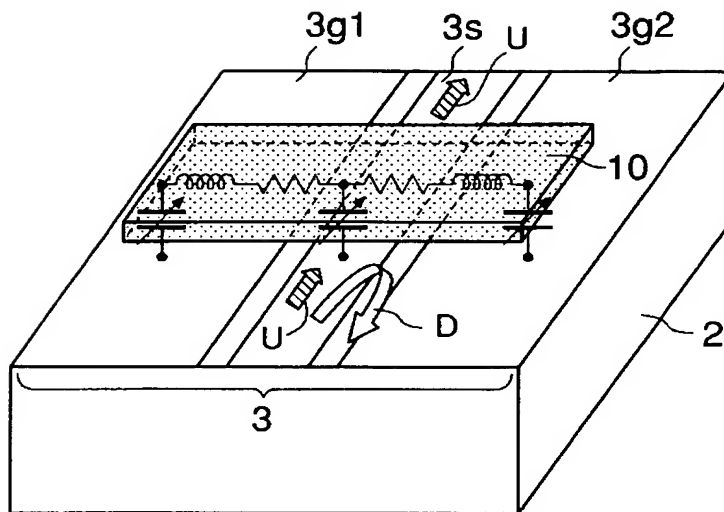
【図 12】



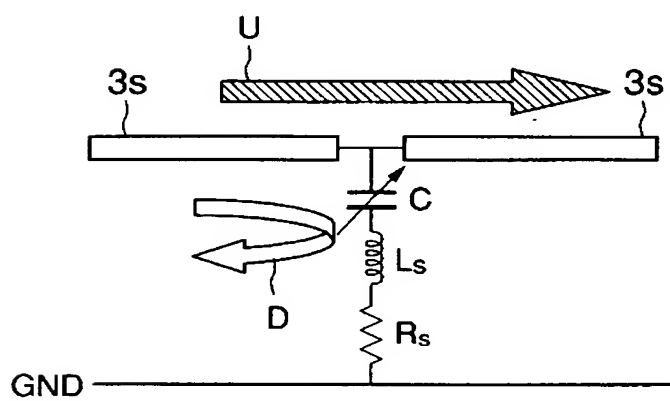


【図 13】

(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 RF MEMSスイッチとしての挿入損失や反射損失の低減、アイソレーション特性の向上を行う。

【解決手段】 基板 2 上に形成されたコプレーナー線路 3 の上方側に可動体 6 を配置し、静電引力を利用して可動体 6 を基板 2 に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段を設ける。可動体 6 には、コプレーナー線路 3 に対向する 2 つの可動電極 10 (10 a, 10 b) を形成し、これら可動電極 10 a, 10 b は互いにコプレーナー線路 3 の信号導通方向に間隔を介して配列する。2 つの可動電極 10 a, 10 b 間のコプレーナー線路 3 が系のインピーダンスより高い特性インピーダンスを有し、かつ、コプレーナー線路 3 に導通される高周波信号波長の  $1/4$  以下の長さの伝送線路として機能するようにする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 6 1 1 1 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 2 3 1 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日  
新規登録

住 所  
氏 名

京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号  
株式会社村田製作所